

**PENGARUH TEKANAN PENYUNTIKAN, SUHU PENYUNTIKAN DAN
BEBAN SERBUK TERHADAP KETUMPATAN JASAD ANUM:
ANALISIS VARIAN**

Khairur Rijal Jamaludin^{1,2}, Norhamidi Muhamad¹, Mohd Nizam Ab. Rahman¹,
Sri Yulis M. Amin¹, Sufizar Ahmad¹, Mohd Halim Irwan Ibrahim¹,
Murtadhahadi¹,
Nor Hafiez Mohamad Nor¹

1. Precision Process Research Group,
Department of Mechanical & Materials Engineering,
Faculty of Engineering and Architecture,
National University of Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

2. Department of Mechanical Engineering
College of Science & Technology
Universiti Teknologi Malaysia
International Campus, 54100 Kuala Lumpur

Email: khairur@citycampus.utm.my

ABSTRAK

Penelitian kesan tekanan penyuntikan, suhu penyuntikan dan beban serbuk terhadap ketumpatan jasad anum dibincangkan dalam kertas kerja ini. Bahan suapan serbuk SS316L pengatoman gas yang menggunakan bahan pengikat rencam PEG dan PMMA digunakan dalam kajian ini dan, ketumpatan jasad anum tersebut ditentukan dengan kaedah rendaman Archimedes berdasarkan piawai MPIF 42. Analisis varian (ANOVA) dua hala dilakukan terhadap keputusan yang diperolehi bagi mendapatkan signifikan faktor-faktor tersebut terhadap ciri kualiti jasad anum yang dikaji. Selain itu juga, peratusan sumbangan faktor-faktor tersebut terhadap ketumpatan jasad anum juga diperolehi dalam analisis ini. Kajian ini mendapati bahawa suhu penyuntikan mempunyai pengaruh sebanyak 18.52 % terhadap ketumpatan jasad anum serbuk halus manakala, sebanyak 9.48 % bagi serbuk kasar. Beban serbuk pula menyumbang sebanyak 56.90 % bagi ketumpatan jasad anum serbuk halus manakala sebanyak 76 % bagi serbuk kasar. Suhu penyuntikan dan tekanan penyuntikan berada pada tahap signifikan yang lemah sebanyak 10 % terhadap ketumpatan jasad anum serbuk halus dan kasar masing-masing. Bagaimanapun, beban serbuk didapati berada pada tahap signifikan yang terbaik iaitu sebanyak 1 % terhadap ciri kualiti yang dikaji.

Katakunci: Pengacuan suntikan logam (MIM); analisis varian; ketumpatan; jasad anum

PENGENALAN

Proses acuan suntikan logam (MIM) merupakan proses untuk menghasilkan produk bersaiz kecil tanpa memerlukan proses berikutnya. Proses ini telah menarik minat industri dan ianya semakin bertambah sejak 20 tahun kebelakangan ini disebabkan oleh potensi proses ini yang murah untuk menghasilkan barangan berbentuk kompleks dan berprestasi tinggi. Proses ini seringkali dikaitkan dengan penggunaan bahan pengikat yang bertindak sebagai pengangkut serbuk logam ke dalam kaviti acuan, bentuk kompleks yang dihasilkannya dan sifat mekanikal yang terbaik selepas melalui proses pensinteran.

Salah satu ciri kualiti produk MIM yang penting ialah ketumpatan. Produk yang dihasilkan oleh proses MIM ini perlu mencapai ketumpatan akhir sebanyak 95 % hingga 100 % daripada ketumpatan teori bahan tersebut (German dan Bose 1997). Bagaimanapun, ketumpatan akhir ini bergantung kepada kehomogenan bahan suapan yang dihasilkan selain faktor bentuk dan saiz partikel serbuk yang digunakan. Selain daripada itu juga, faktor-faktor seperti tekanan penyuntikan, suhu penyuntikan dan beban serbuk akan mempengaruhi ketumpatan akhir produk berkenaan.

Penggunaan bahan suapan serbuk halus akan memaksimumkan ketumpatan akhir tetapi penggunaan serbuk kasar pula memungkinkan produk yang bersaiz lebih besar dapat dihasilkan dengan proses ini (Knights 2003; Shu dan Hwang 2002). Malah, sekiranya beban serbuk ditingkatkan sehingga hampir dengan beban serbuk kritikal, ketumpatan yang lebih tinggi dan pengurangan saiz produk akhir dapat dikurangkan (Yimim et al. 2007). Selain daripada itu juga, Zauner et al. (2002) juga mendapati peningkatan beban serbuk akan dapat mengurangkan pengecutan dan perubahan dimensi jasad tersinter.

Kertas kerja ini membahaskan kajian penulis mengenai kesan tekanan penyuntikan, suhu penyuntikan dan beban serbuk terhadap ketumpatan jasad anum. Ketiga-tiga faktor tersebut akan dibincangkan, seterusnya analisis varian (ANOVA) akan digunakan bagi melihat peratusan sumbangan faktor-faktor tersebut serta tahap signifikannya terhadap ciri kualiti yang dikaji.

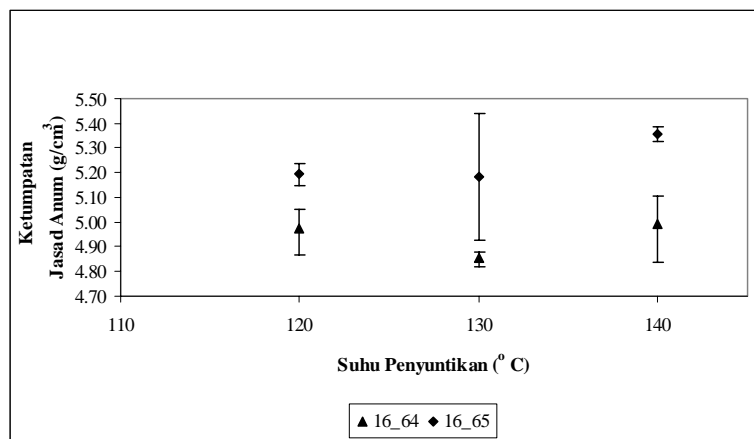
KAEDAH KAJIAN

Serbuk keluli tahan karat 316L pengatoman gas dari ANVAL dengan partikel serbuk purata (D_{50}) 19.606 dan 11.225 μm digunakan dalam kajian ini. Adunan PMMA dan PEG digunakan sebagai bahan pengikat dengan peratusan isipadu sebanyak 73% PEG; 25% PMMA; dan sebanyak 2% asid sterik digunakan untuk memudahkan proses pengacuan. Bahan suapan dengan beban serbuk sebanyak 64 % isipadu dan 65 % isipadu digunakan dalam kajian ini.

Jasad anum bagi kajian ini dihasilkan dengan mesin pengacuan suntikan logam Battenfeld BA 250 CDC, manakala ketumpatan jasad anum ditentukan dengan kaedah rendaman Archimedes berdasarkan piawai MPIF 42.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Ketumpatan jasad anum yang menggunakan serbuk halus ditunjukkan oleh Rajah 1. Rajah tersebut menunjukkan peningkatan beban serbuk daripada 64 % isipadu ke 65 % isipadu berupaya meningkatkan ketumpatan jasad anum. Keadaan yang sama juga berlaku pada jasad anum yang menggunakan serbuk kasar seperti ditunjukkan oleh Rajah 2. Bagaimanapun, perbandingan di antara plot oleh rajah-rajah tersebut menunjukkan jasad anum 16_65 mempunyai ketumpatan yang lebih baik, diikuti dengan jasad anum 31_65 apabila disuntik pada suhu 120, 130 dan 140 °C. Jasad anum 16_65 mempunyai ketumpatan yang lebih baik berbanding yang lainnya disebabkan oleh ruang-ruang di antara partikelnya yang lebih kecil, dan ianya juga mengandungi lebih banyak serbuk SS316L berbanding jasad anum yang lain.

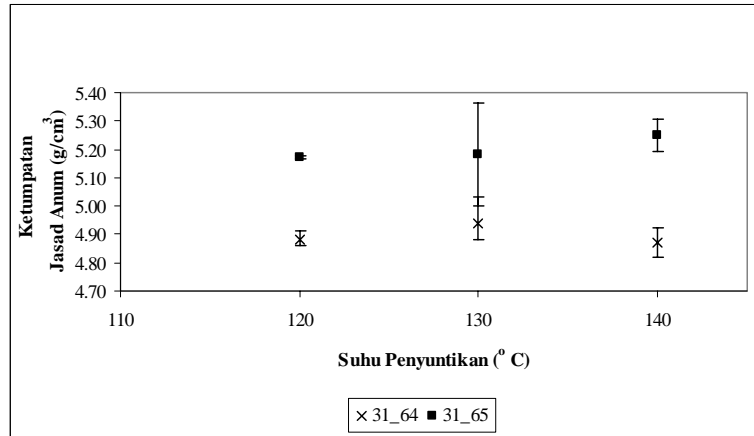


Rajah 1 Ketumpatan jasad anum yang menggunakan serbuk halus pada tekanan 350 bar

Penilaian ketumpatan jasad anum yang dihasilkan dengan menggunakan serbuk SS316L kasar dan halus seperti ditunjukkan oleh Rajah 1 dan Rajah 2 secara amnya menunjukkan kesemua jasad anum ini sesuai disuntik pada suhu 140 °C. Ini berdasarkan kepada ketumpatan jasad anum yang tinggi boleh dihasilkan pada suhu tersebut.

Walau bagaimanapun, kebanyakan jasad-jasad anum yang dihasilkan pada beban serbuk 65 % isipadu mempunyai beberapa kecacatan seperti pengisian tidak penuh, jasad anum pecah semasa acuan dibuka dan sebagainya. Ini disebabkan oleh kelikatan bahan suapan yang tinggi semasa ianya disuntik pada tekanan 350 bar. Oleh itu, peningkatan tekanan dan suhu penyuntikan mungkin

dapat memperbaiki masalah ini. Apabila tekanan penyuntikan ditingkatkan ke 450 bar, masalah percikan didapati berlaku pada jasad anum tersebut. Penggunaan bahan suapan yang menggunakan serbuk SS316L dalam taburan bimodal dipercayai dapat membantu menyelesaikan masalah ini. Ini kerana kehadiran serbuk halus dan kasar dalam jumlah tertentu akan dapat menyeimbangkan kandungan bahan pengikat dan serbuk logam dalam bahan suapan.



Rajah 2 Ketumpatan jasad anum yang menggunakan serbuk kasar pada tekanan 350 bar

Jadual 1 menunjukkan hanya suhu penyuntikan sahaja yang signifikan terhadap ketumpatan jasad anum yang dihasilkan dengan serbuk halus (16_64) sebanyak 10 % dan faktor ini menyumbang sebanyak 18.52 % kepada ketumpatan jasad anum ini. Selanjutnya, apabila beban serbuk bahan suapan ini ditingkatkan ke 65 % isipadu (Jadual 2), analisis varian menunjukkan bahawa beban serbuk menyumbang sebanyak 56.90 % kepada ketumpatan jasad anum serbuk halus ini dengan tahap signifikan yang amat baik sebanyak 1 %. Bagaimanapun, faktor-faktor lain seperti ditunjukkan oleh Jadual 2 menunjukkan tahap signifikan yang lemah iaitu 10 %.

Jadual 1 Analisis varian bagi pengaruh tekanan dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum bahan suapan 16_64

Sumber	Jumlah Kuasa Dua, S_n	Darjah Kebebasan, f_n	Varian, v_n	Nisbah varian, F_n	F statistik	Peratus sumbangan, P_n
A (Tekanan)	0.013081	1	0.013081	0.978799	$F(0.1)=3.05$	-0.08348
B (Suhu)	0.103051	3	0.03435	2.570365	$F(0.1)=2.46$	18.52132
AxB	0.009957	3	0.003319	0.248365	$F(0.1)=2.46$	-8.86558
e	0.213831	16	0.013364			90.42774
T	0.33992	23				100

Keadaan sebaliknya berlaku ke atas jasad anum yang dihasilkan dengan bahan suapan serbuk kasar di mana, (Jadual 3) tekanan penyuntikannya pula yang signifikan walaupun sekadar 10 %. Ini berbeza semasa bahan suapan serbuk halus digunakan, suhu penyuntikan didapati lebih signifikan (Jadual 1) dengan tahap signifikan yang sama iaitu 10 %. Walau bagaimanapun, interaksi di antara suhu penyuntikan dengan tekanan penyuntikan menunjukkan tahap signifikan yang lebih lemah. Tekanan penyuntikan hanya menyumbang sebanyak 9.48 % ke atas ketumpatan jasad anum 31_64 ini.

Jadual 2 Analisis varian bagi pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum bahan suapan 16_64 dan 16_65

Sumber	Jumlah Kuasa Dua, S_n	Darjah Kebebasan, f_n	Varian, v_n	Nisbah varian, F_n	F statistik	Peratus sumbangan, P_n
C (Beban serbuk)	0.484011	1	0.484011	32.19508	$F(0.01)= 8.53$	56.90115
B (Suhu)	0.076393	3	0.025464	1.693811	$F(0.1)= 2.46$	3.796623
C \times B	0.023254	3	0.007751	0.515591	$F(0.1)= 2.46$	-2.65075
e	0.240539	16	0.015034			41.95298
T	0.824197	23				100

Apabila beban serbuk bagi bahan suapan serbuk kasar ini ditingkatkan ke 65 % isipadu (Jadual 4), beban serbuk didapati mempunyai tahap signifikan yang kuat iaitu sebanyak 1 % dengan peratus sumbangan 76 % terhadap ketumpatan jasad anum 31_64 dan 31_65. Keadaan ini adalah sama seperti yang ditunjukkan oleh Jadual 2 di mana beban serbuk juga mempunyai tahap signifikan yang sama serta peratus sumbangannya terhadap ketumpatan jasad anum yang juga tinggi. Keputusan ini menunjukkan sebarang peningkatan beban serbuk akan meningkatkan ketumpatan jasad anum yang dihasilkan. Ini disokong oleh Rajah 1 dan Rajah 2 yang menunjukkan peningkatan ketumpatan berlaku apabila beban serbuknya ditingkatkan.

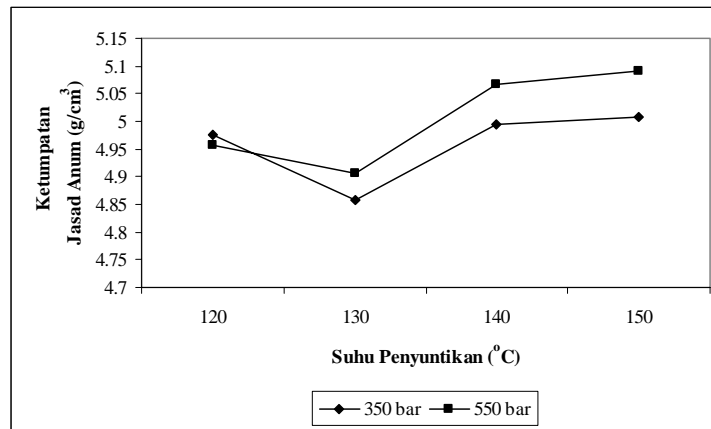
Jadual 3 Analisis varian bagi pengaruh tekanan dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum bahan suapan 31_64

Sumber	Jumlah Kuasa Dua, S_n	Darjah Kebebasan, f_n	Varian, v_n	Nisbah varian, F_n	F statistik	Peratus sumbangan, P_n
A (Tekanan)	0.044262	1	0.044262	3.362597	$F(0.1)=3.05$	9.478076
B (Suhu)	0.038852	3	0.012951	0.983879	$F(0.1)=2.46$	-0.19402
A \times B	0.034391	3	0.011464	0.870911	$F(0.1)=2.46$	-1.5536
e	0.210607	16	0.013163			92.26955
T	0.328112	23				100

Rajah 3 menunjukkan pengaruh tekanan penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum. Tekanan penyuntikan 550 bar menghasilkan jasad anum yang lebih tumpat berbanding tekanan 350 bar dan ketumpatannya didapati meningkat apabila suhu penyuntikan ditingkatkan. Ini disebabkan oleh lebih banyak partikel serbuk SS316L dapat memasuki kaviti acuan bersama-sama bahan pengikat yang lebih cair pada suhu pengacuan yang tinggi tersebut. Bagaimanapun, Jadual 5 menunjukkan kedua-dua tekanan penyuntikan tersebut mempunyai tahap kelasakan yang hampir sama terhadap suhu penyuntikan. Ini boleh dilihat pada nilai S/Nnya terhadap ketumpatan jasad anum ini yang hampir sama.

Jadual 4 Analisis varian bagi pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum bahan suapan 31_64 dan 31_65

Sumber	Jumlah Kuasa Dua, S_n	Darjah Kebebasan, f_n	Varian, v_n	Nisbah varian, F_n	F statistik	Peratus sumbangan, P_n
C (Beban serbuk)	0.450038	1	0.450038	74.24304	$F(0.01) = 8.53$	76.00111
B (Suhu)	0.005854	3	0.001951	0.321888	$F(0.1) = 2.46$	-2.11094
C \times B	0.031292	3	0.010431	1.720769	$F(0.1) = 2.46$	2.243732
e	0.096987	16	0.006062			23.8661
T	0.584171	23				100

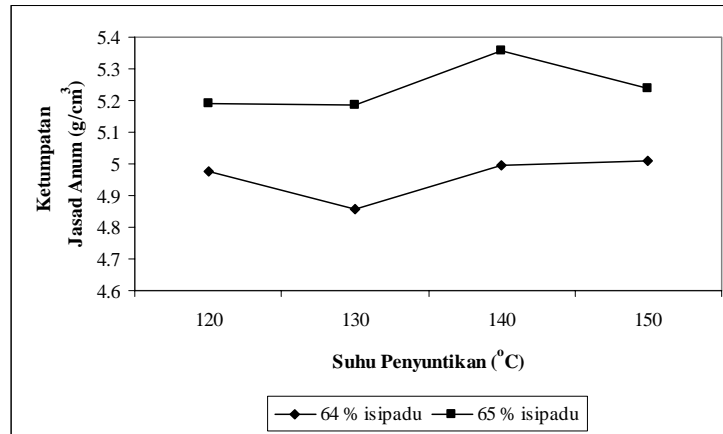


Rajah 3 Pengaruh tekanan dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum serbuk halus

Selanjutnya seperti ditunjukkan oleh Rajah 4, ketumpatan jasad anum tersebut didapati meningkat dengan peningkatan beban serbuk. Fakta ini disokong oleh analisis varian yang ditunjukkan oleh Jadual 2 dan 4 yang menunjukkan beban serbuk adalah signifikan terhadap ketumpatan jasad anum.

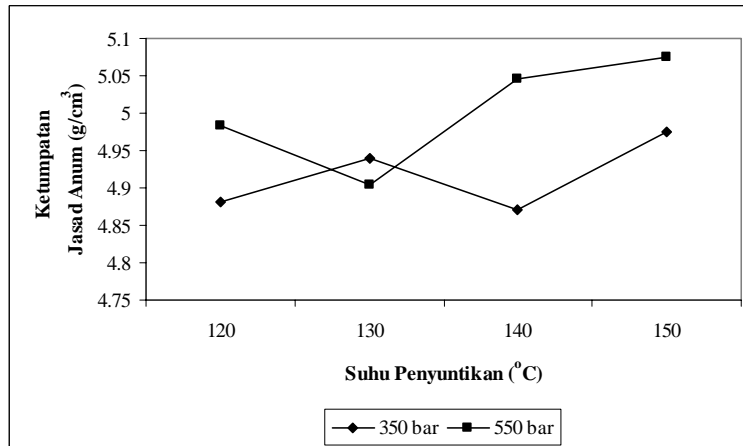
Rajah 5 menunjukkan ketumpatan jasad anum yang lebih tinggi dihasilkan oleh serbuk kasar sekiranya disuntik pada tekanan 550 bar, tetapi pada suhu penyuntikan 130 °C, keadaan yang sebaliknya berlaku. Ini disebabkan oleh

pemisahan bahan pengikat yang berlaku pada suhu tersebut, tetapi secara umumnya, ketumpatan yang lebih baik dapat dihasilkan pada tekanan penyuntikan 550 bar. Peningkatan ketumpatan jasad anum serbuk kasar ini didapati berlaku dengan peningkatan suhu penyuntikan. Bagaimanapun, Jadual 5 menunjukkan kedua-dua tekanan penyuntikan tersebut mempunyai tahap klasakan yang sama.



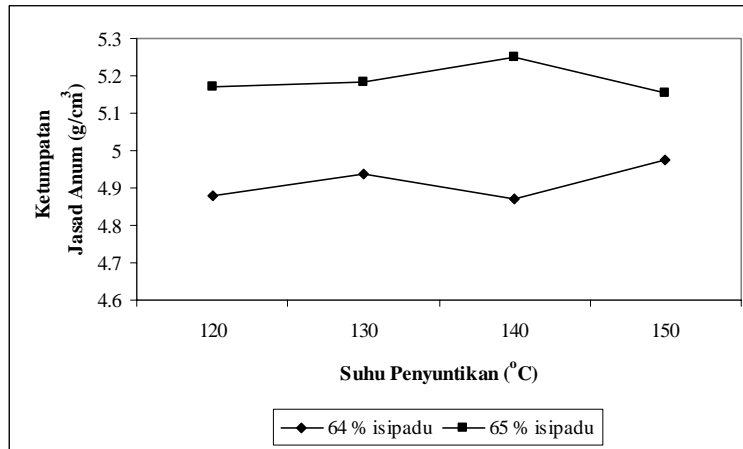
Rajah 4 Pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum serbuk halus

Rajah 6 menunjukkan ketumpatan jasad anum serbuk kasar ini didapati bertambah apabila beban serbuknya ditingkatkan ke 65 % isipadu. Nisbah S/N bagi bahan suapan ini, seperti ditunjukkan Jadual 5 menunjukkan bahan suapan ini pada beban serbuk 65 % isipadu adalah lebih tahan lasak terhadap tekanan penyuntikan berbanding dengan beban serbuk 64 % isipadu.



Rajah 5 Pengaruh tekanan dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad

anum serbuk kasar



Rajah 6 Pengaruh tekanan dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum serbuk kasar

Jadual 5 Nisbah isyarat hingar (S/N) ketumpatan jasad anum bagi tekanan penyuntikan dan beban serbuk

Tekanan Penyuntikan	16_64 (dB)	31_64 (dB)
A1 (350 bar)	13.90	13.83
A2 (550 bar)	13.98	13.97
Beban Serbuk (% isipadu)	Halus (dB)	Kasar (dB)
64	13.90	13.83
65	14.38	14.30

KESIMPULAN

Kesan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum yang menggunakan serbuk SS316L pengatoman gas telah dibahasakan dalam kertas kerja ini. Peningkatan beban serbuk dari 64 % isipadu ke 65 % isipadu didapati berupaya meningkatkan ketumpatan jasad anum yang dihasilkan. Disamping itu juga, suhu penyuntikan 140°C adalah sesuai bagi menghasilkan jasad anum dengan ketumpatan yang optimum.

Analisis varian yang dilakukan dalam kajian ini mendapati bahawa suhu penyuntikan mempengaruhi sebanyak 18.52 % terhadap ketumpatan jasad anum serbuk halus manakala sebanyak 9.48 % bagi serbuk kasar. Selanjutnya, beban serbuk pula menyumbang sebanyak 56.90 % bagi ketumpatan jasad anum serbuk halus manakala serbuk kasar menyumbang sebanyak 76 %.

Dari aspek signifikan parameter tersebut terhadap ketumpatan jasad anum pula, kajian ini mendapati bahawa suhu penyuntikan dan tekanan penyuntikan berada pada tahap signifikan yang lemah sebanyak 10 % terhadap ketumpatan jasad anum serbuk halus dan kasar masing-masing. Bagaimanapun, beban serbuk didapati berada pada tahap signifikan yang terbaik iaitu sebanyak 1 % terhadap ciri kualiti yang dikaji.

RUJUKAN

German, R.M. & Bose, A. 1997. Injection molding of metals and ceramics. Metal Powder Industries Federation, New Jersey.

Knights, M. 2003. Metal-powder injection molding moves into larger parts. *Plastics Technology*. 49(2): 43

Shu, G.J. & Hwang, K.S. 2002. Methods to increase the sintered density of coarse iron powders. *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials*. 10: 12-22

Yimin L., Liujun L., & Khalil K.A. 2007. Effect of powder loading on metal injection molding stainless steels. *Journal of Materials Processing Technology*. 183: 432–439

Zauner, R., Heaney, D., Piemme, J., Binet, C. & German, R.M. 2002. The effect of powder loading on dimensional variability in PIM. *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials*. 10: 315-320